

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/000471

International filing date: 17 January 2005 (17.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-011923
Filing date: 20 January 2004 (20.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 17 February 2005 (17.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

28. 1. 2005

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 1 月 2 0 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 1 1 9 2 3
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 1 1 9 2 3]

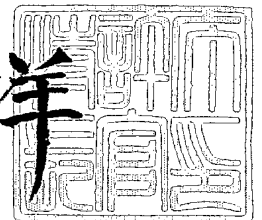
出 願 人
Applicant(s): 日 本 電 気 株 式 有 限 公 司

2 0 0 4 年 8 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川

洋



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 4 - 3 0 7 7 5 6 6

【書類名】 特許願
【整理番号】 34403333
【提出日】 平成16年 1月20日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H03M 13/19
G06F 11/00
【発明者】
【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
【氏名】 仙田 裕三
【特許出願人】
【識別番号】 000004237
【氏名又は名称】 日本電気株式会社
【代理人】
【識別番号】 100103090
【弁理士】
【氏名又は名称】 岩壁 冬樹
【電話番号】 03-6202-0773
【選任した代理人】
【識別番号】 100114720
【弁理士】
【氏名又は名称】 須藤 浩
【電話番号】 03-6202-0773
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 050496
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0102926

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列 H を生成するための検査行列生成方法であって、

前記検査行列 H を、 m 行 k 列 ($k = n - m$) の部分行列 H_1 と m 行 m 列の部分行列 H_2 とで構成し、

前記部分行列 H_1 に含まれるいずれの 2 つの行を選んだ場合であっても、2 つの行の周期が素となるか、または 2 つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように、前記部分行列 H_1 の各行の行列要素「1」の位置を決定する

ことを特徴とする検査行列生成方法。

【請求項 2】

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を定め、

前記周期リスト P の要素 $p(j)$ ごとに、周期が $p(j)$ であり位相が異なる最大 $p(j)$ 個の部分行列 H_1 の行を生成する

請求項 1 記載の検査行列生成方法。

【請求項 3】

先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成する請求項 2 記載の検査行列生成方法。

【請求項 4】

周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成する請求項 3 記載の検査行列生成方法。

【請求項 5】

周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1 つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成する請求項 3 記載の検査行列生成方法。

【請求項 6】

部分行列 H_2 として単位行列を生成する請求項 1 から請求項 5 のうちのいずれか 1 項に記載の検査行列生成方法。

【請求項 7】

部分行列 H_2 として、部分行列 H_2 に含まれるいずれの 2 つの行を選んだ場合であっても、2 つの行の周期が素となるか、または 2 つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように下三角内の行列要素「1」の位置を決定することによって、下三角行列を生成する請求項 1 記載の検査行列生成方法。

【請求項 8】

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を定め、

前記周期リスト P の要素 $p(j)$ ごとに、周期が $p(j)$ であり位相が異なる最大 $p(j)$ 個の部分行列 H_2 の行を生成する

請求項 7 記載の検査行列生成方法。

【請求項 9】

先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成する請求項 8 記載の検査行列生成方法。

【請求項 10】

周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成する請求項 9 記載の検査行列生成方法。

【請求項 11】

周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1 つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるとい

う条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成する請求項 9 記載の検査行列生成方法。

【請求項 12】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成するための検査行列生成方法であって、

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を用いて、 $N(j)$ を前記周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n-m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $c = n-m+r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、前記いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する

ことを特徴とする検査行列生成方法。

【請求項 13】

$F(j) = -N(j-1)$ とする請求項 12 記載の検査行列生成方法。

【請求項 14】

$F(j) = n-m$ とする請求項 12 記載の検査行列生成方法。

【請求項 15】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成するための検査行列生成方法であって、

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を用いて、 $N(j)$ を前記周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i を用いて $1 \leq c \leq n-m+r$ 且つ $c = p(j) \cdot i + n-m+r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、前記条件を満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する

ことを特徴とする検査行列生成方法。

【請求項 16】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成するための検査行列生成方法であって、

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) と、周期リスト $Q = \{q(1), q(2), \dots, q(QL)\}$ ($q(1) \sim q(QL)$ は互いに素) とを用いて、 $N(j)$ を前記周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し、 $N(0)$ を 0 であると定義し、 $M(j)$ を前記周期リスト Q の要素 $q(1)$ から要素 $q(j)$ までの値の合計であると定義し、且つ $M(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n-m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $M(j-1) + 1 \leq r \leq M(j)$ であれば、整数 i を用いて $n-m+1 \leq c \leq n-m+r$ 且つ $c = q(j) \cdot i + n-m+r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、前記いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する

ことを特徴とする検査行列生成方法。

【請求項 17】

$F(j) = -N(j-1)$ とする請求項 16 記載の検査行列生成方法。

【請求項 18】

$F(j) = n-m$ とする請求項 16 記載の検査行列生成方法。

【請求項 19】

先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成することによって、周期リスト P を定める

請求項 12、請求項 15 または請求項 16 記載の検査行列生成方法。

【請求項 20】

周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成する請求項 19 記載の検査行列生成方法。

【請求項 21】

周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1 つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成する請求項 19 記載の検査行列生成方法。

【請求項 22】

データを符号化する符号化装置と、符号化されたデータを復号する復号装置とを含むデータ伝送システムであって、

前記符号化装置は、

所定のパラメータにもとづいて、請求項 1、請求項 12、請求項 15 または請求項 16 のうちのいずれか 1 項に記載の検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、

生成した検査行列を用いてデータを低密度パリティ符号化して符号語に変換し、

変換した符号語を、伝送路を介して前記復号装置に送信し、

前記復号装置は、

前記符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて、前記検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、

前記符号化装置から受信した符号語を、生成した検査行列を用いて復号し符号化前のデータに変換する

ことを特徴とするデータ伝送システム。

【請求項 23】

符号化装置は、パラメータとしての所定の周期リスト P にもとづいて検査行列を生成し、

復号装置は、前記符号化装置が用いる周期リスト P と同一の周期リスト P にもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 24】

符号化装置は、

パラメータとしての周期リスト P の先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて、要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成することによって、周期リスト P を定め、

定めた周期リストにもとづいて検査行列を生成し、

復号装置は、

前記符号化装置が用いる要素 $p(1)$ と同一の要素 $p(1)$ にもとづいて、要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成することによって、周期リスト P を定め、

定めた周期リストにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 25】

符号化装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成し、

復号装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成する

請求項 24 記載のデータ伝送システム。

【請求項 26】

符号化装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1 つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成し、

復号装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1 つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素

数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成する

請求項 24 記載のデータ伝送システム。

【請求項 27】

符号化装置は、伝送路を介してパラメータを復号装置に送信し、

前記復号装置は、前記符号化装置から受信したパラメータを用いることによって、前記符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 28】

復号装置は、伝送路を介してパラメータを符号化装置に送信し、

前記符号化装置は、前記復号装置から受信したパラメータを用いることによって、前記復号装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 29】

符号化装置は、所定時間ごとにパラメータを伝送路を介して復号装置に送信し、

前記復号装置は、前記符号化装置から受信したパラメータを用いることによって、前記符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 30】

復号装置は、所定時間ごとにパラメータを伝送路を介して符号化装置に送信し、

前記符号化装置は、前記復号装置から受信したパラメータを用いることによって、前記復号装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 31】

符号化装置は、パラメータの内容が更新された場合に、前記パラメータを伝送路を介して復号装置に送信し、

前記復号装置は、前記符号化装置から受信したパラメータを用いることによって、前記符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 から請求項記載のデータ伝送システム。

【請求項 32】

復号装置は、パラメータの内容が更新された場合に、前記パラメータを伝送路を介して符号化装置に送信し、

前記符号化装置は、前記復号装置から受信したパラメータを用いることによって、前記復号装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成する

請求項 22 記載のデータ伝送システム。

【請求項 33】

所定のパラメータにもとづいて、請求項 1、請求項 12、請求項 15 または請求項 16 のうちのいずれか 1 項に記載の検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、

生成した検査行列を用いてデータを低密度パリティ符号化して符号語に変換し、

変換した符号語を、伝送路を介して復号装置に送信する

ことを特徴とする符号化装置。

【請求項 34】

符号化装置から、伝送路を介して符号語を受信し、

所定のパラメータにもとづいて、請求項 1、請求項 12、請求項 15 または請求項 16 のうちのいずれか 1 項に記載の検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、

前記受信した符号語を、生成した検査行列を用いて復号し符号化前のデータに変換することを特徴とする復号装置。

【請求項 35】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列 H を生成させるための検査行列生成プログラムであって、

コンピュータに、

前記検査行列 H を、 m 行 k 列の部分行列 H_1 と m 行 m 列の部分行列 H_2 とで構成する処理と ($m = n - k$)、

前記部分行列 H_1 に含まれるいずれの 2 つの行を選んだ場合であっても、2 つの行の周期が素となるか、または 2 つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように、前記部分行列 H_1 の各行の行列要素「1」の位置を決定する処理とを実行させる

ことを特徴とする検査行列生成プログラム。

【請求項 36】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成させるための検査行列生成プログラムであって、

コンピュータに、

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を用いて、 $N(j)$ を前記周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n - m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $c = n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、前記いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する処理を実行させる

ことを特徴とする検査行列生成プログラム。

【請求項 37】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成させるための検査行列生成プログラムであって、

コンピュータに、

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を用いて、 $N(j)$ を前記周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i を用いて $1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = p(j) \cdot i + n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、前記条件を満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する処理を実行させる

ことを特徴とする検査行列生成プログラム。

【請求項 38】

低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成させるための検査行列生成プログラムであって、

コンピュータに、

周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) と、周期リスト $Q = \{q(1), q(2), \dots, q(QL)\}$ ($q(1) \sim q(QL)$ は互いに素) とを用いて、 $N(j)$ を前記周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し、 $N(0)$ を 0 であると定義し、 $M(j)$ を前記周期リスト Q の要素 $q(1)$ から要素 $q(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $M(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n - m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $M(j-1) + 1 \leq r \leq M(j)$ であれば、整数 i を用いて $n - m + 1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = q(j) \cdot i + n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、前記いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する処理を実行させる

ことを特徴とする検査行列生成プログラム。

【書類名】明細書

【発明の名称】検査行列生成方法、データ伝送システム、符号化装置、復号装置および検査行列生成プログラム

【技術分野】

【0001】

本発明は、誤り訂正符号としてLDPC（低密度パリティ検査）符号を用いる符号化装置（符号化装置）および復号装置（復号装置）が検査行列を生成するための検査行列生成方法および検査行列生成プログラムに関し、検査行列生成方法や検査行列生成プログラムを適用したデータ伝送システム、符号化装置および復号装置に関する。

【背景技術】

【0002】

伝送エラーが生じうる伝送路を介してデータの伝送を行う場合、一般に誤り訂正符号を用いる。図8は、伝送路を介してデータを伝送するデータ伝送システムの構成の一例を示すブロック図である。例えば、図8に示すデータ伝送システムでは、伝送路12を介して送信側の伝送路符号化器11および受信側の伝送路復号器13を備えている。そして、伝送路符号化器11および伝送路復号器13を用いてエラー訂正を行うことによって、データ発生器10からデータ消費者14に送られるデータに伝送エラーが影響しないようにしている。

【0003】

誤り訂正符号として、Reed Solomon（リードソロモン）符号や Turbo（ターボ）符号などが知られている。また、近年、理論限界（シャノン限界）に近い性能を出せるLDPC符号が誤り訂正符号として注目されている。

【0004】

LDPC符号化されるメッセージ（データ）のメッセージ長を k とし符号化後の符号語長を n とすると、LDPC符号の検査行列 H は、 $(n-k)$ 行 n 列の行列として表される。メッセージを $S = (s_1, s_2, \dots, s_k)$ とし符号語を $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ とすると、符号語 C は、 k 行 n 列の生成行列 G をメッセージ S に乗ずることによって得られる。すなわち、符号語 C は、 $C = SG$ を求めることによって得られる。全ての符号語 C は $HC^t = 0$ の条件を満たすので、 $GH^t = 0$ である。なお、 C^t は符号語 C の転置ベクトルを示し、 H^t は検査行列 H の転置行列を示す。

【0005】

LDPC符号の応用例として、例えば、非特許文献1には、パケット列に対してLDPC符号化を行い、パケット交換網で発生するパケットロス対策にLDPC符号を応用する例が記載されている。

【0006】

LDPC符号のエラー訂正特性は検査行列によって決まる。非特許文献2では、LDPC符号のエラー訂正特性の理論解析を開示している。非特許文献2によれば、LDPC符号のエラー訂正特性を決定しているのは、主として検査行列の重み分布である。検査行列は、ほとんど要素「0」によって構成されており、まばらに要素「1」を含む。なお、重みとは、検査行列において各行や各列に含まれる要素「1」の数を示す。

【0007】

LDPC符号の発明者であるRobert G. Gallagerが提案した検査行列は、行や列の重みが均一な行列である。Robert G. Gallagerが提案した検査行列によるLDPC符号は、Regular（レギュラ）LDPC符号と呼ばれている。図9は、レギュラLDPC符号の検査行列の一例を示す説明図である。図9に示す検査行列では、各行の重みはそれぞれ要素「1」の数が WR 個で一定（均一）であり、各列の重みはそれぞれ要素「1」の数が WC 個で一定（均一）である。

【0008】

これに対し、非特許文献2では、重みが不均一で特定の分布をもつ検査行列によるLDPC符号のほうが、レギュラLDPC符号に比べて、エラー訂正特性がよいことを明らか

にしている。なお、重みが不均一で特定の分布をもつ検査行列によるLDPC符号は、Irregular (イレギュラ) LDPC符号と呼ばれている。

【0009】

最適な重み分布をもつ検査行列を生成する方法として、特許文献1には、符号化率にもとづいて検査行列を生成するLDPC符号用検査行列生成方法が記載されている。特許文献1に記載されたLDPC符号用検査行列生成方法では、重み分布の決定に線形計画法を利用する。そして、行や列あたりの要素「1」の数を決定した後に、疑似乱数を用いて要素「1」の位置を入れ替えることによって検査行列を生成する。

【0010】

また、検査行列のエラー訂正特性は、行や列の重み分布だけで決まるわけではない。検査行列の行や列の重み分布が最適であったとしても、検査行列を二部グラフ(タナグラフ)を用いて表した場合に二部グラフ上に長さ4などの短いループが存在すれば、エラー訂正特性が大幅に劣化することが知られている。

【0011】

図10は、検査行列に対応する二部グラフの例を示す説明図である。図10(a)は、検査行列の一例を示す。また、図10(b)は、図10(a)に示す検査行列を表した二部グラフである。図10(b)において、変数ノードは符号語の各ビットに対応し、チェックノードは検査行列の各行に対応する。また、ノード間を結ぶエッジは、検査行列中の要素「1」を表している。図10に示すように、二部グラフ上において、長さ4のループは、検査行列中のいずれか2つの行の間で共通に要素「1」をもつ列(共有列)が2以上存在する場合に発生する。

【0012】

LDPC符号の復号は、一般にsum-product 復号法を用いてエラーが重畳された符号語から元のメッセージを推定することによって行われる。検査行列にループが存在しなければ、sum-product 復号法は、最大事後確率(MAP)推定となる。検査行列にループが存在すると、sum-product 復号法は、最大事後確率推定より劣化し最大事後確率推定の近似にすぎなくなる。そのため、検査行列にループが発生するのを防止する検査行列生成方法がいくつか提案されている。

【0013】

また、検査行列は、エラー訂正特性を決定するだけでなく、符号化における演算コスト(演算回数)や生成行列算出のための演算コストも決定する。一般に符号化を行うには $O(n^2)$ 回の演算が必要であり、生成行列を算出するためには $O(n^3)$ 回の演算が必要である。

【0014】

生成行列算出の演算コストや符号化の際の演算コストを削減するために、検査行列の一部を単位行列や三角行列にして、生成行列算出や符号化の際の演算回数を $O(n)$ 回に抑える方法が提案されている。

【0015】

例えば、特許文献2には、サイクリックシフトを表す正方行列の累乗を部分行列として用い、これらの部分行列を組み合わせて検査行列を構成することによって、短いループの発生を防止する低密度パリティ検査符号化方法が記載されている。特許文献2に記載された低密度パリティ検査符号化方法では、ループの発生を防止すると同時に検査行列の三角化を行っている。そして、生成行列と検査行列とを等価にすることによって、符号化の際の演算回数を $O(n)$ 回に抑えている。また、特許文献2に記載された低密度パリティ検査符号化方法では、検査行列を規則的なシフトを用いるだけで生成できるので、検査行列の生成コストも小さい。

【0016】

【非特許文献1】Michael G. Luby, Michael Mitzenmacher, M. Amin Shokrollahi, Daniel A. Spielman, Efficient Erasure Correcting Codes, "IEEE Transactions on Information Theory", February 2001, Vol. 47, No.2, p.569-584.

【非特許文献2】Thomas J. Richardson, M. Amin Shokrollahi, Design of Capacity-Approaching Irregular Low-Density Parity-Check Codes, "IEEE Transactions on Information Theory", February 2001, Vol. 47, No.2, p.619-637.

【特許文献1】特開 2003-198383 号公報 (第 4-10 頁、第 1-18 図)

【特許文献2】特開 2002-115768 号公報 (第 6-10 頁、第 1-9 図)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

特許文献 1 に記載された LDPC 符号用検査行列生成方法によれば、検査行列の生成コストを削減することができる。しかし、検査行列から生成行列を算出する演算コストや、算出した生成行列を用いて符号化を行う際の演算コストの削減はできない。また、検査行列を生成するために線形計画法や疑似乱数を用いた複雑な演算を行わなければならない。

【0018】

また、特許文献 2 に記載された低密度パリティ検査符号化方法では、三角化を行う前の行列の行重みと列重みが一定であり、生成する検査行列がレギュラ LDPC 符号の検査行列に近くなる。従って、必ずしもエラー訂正特性がよくなるように検査行列を生成することはできない。

【0019】

そこで、本発明は、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成できる検査行列生成方法、データ伝送システム、符号化装置、復号装置および検査行列生成プログラムを提供することを目的とする。また、本発明は、生成行列の生成の際や符号化の際の演算コストを抑えることができる検査行列生成方法、データ伝送システム、符号化装置、復号装置および検査行列生成プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0020】

本発明による検査行列生成方法は、低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列 H を生成するための検査行列生成方法であって、検査行列 H を、 m 行 k 列 ($k = n - m$) の部分行列 H_1 と m 行 m 列の部分行列 H_2 とで構成し、部分行列 H_1 に含まれるいずれの 2 つの行を選んだ場合であっても、2 つの行の周期が素となるか、または 2 つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように、部分行列 H_1 の各行の行列要素「1」の位置を決定することを特徴とする。

【0021】

また、検査行列生成方法は、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を定め、周期リスト P の要素 $p(j)$ ごとに、周期が $p(j)$ であり位相が異なる最大 $p(j)$ 個の部分行列 H_1 の行を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P さえ入力すれば、容易に部分行列 H_1 を生成することができる。

【0022】

また、検査行列生成方法は、先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に部分行列 H_1 を生成することができる。

【0023】

また、検査行列生成方法は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0024】

また、検査行列生成方法は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0025】

また、検査行列生成方法は、部分行列 H_2 として単位行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、検査行列が単位行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0026】

また、検査行列生成方法は、部分行列 H_2 として、部分行列 H_2 に含まれるいずれの2つの行を選んだ場合であっても、2つの行の周期が素となるか、または2つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように下三角内の行列要素「1」の位置を決定することによって、下三角行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、検査行列が下三角行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0027】

また、検査行列生成方法は、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を定め、周期リスト P の要素 $p(j)$ ごとに、周期が $p(j)$ であり位相が異なる最大 $p(j)$ 個の部分行列 H_2 の行を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P さえ入力すれば、容易に部分行列 H_2 を生成することができる。

【0028】

また、検査行列生成方法は、先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に部分行列 H_2 を生成することができる。

【0029】

また、検査行列生成方法は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に部分行列 H_2 を生成することができる。

【0030】

また、検査行列生成方法は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に部分行列 H_2 を生成することができる。

【0031】

また、検査行列生成方法は、低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成するための検査行列生成方法であって、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を用いて、 $N(j)$ を周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を0であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n-m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $c = n-m+r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、部分行列ごとに生成することなく、いずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満

たすように、 m 行 n 列の検査行列を一括して生成することができる。また、部分行列ごとに生成することなく、単位行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができる。また、簡素な方法で検査行列を生成することができる。また、検査行列 H が単位行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0032】

また、検査行列生成方法は、 $F(j) = -N(j-1)$ とするように構成されていてもよい。

【0033】

また、検査行列生成方法は、 $F(j) = n - m$ とするように構成されていてもよい。

【0034】

また、検査行列生成方法は、低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成するための検査行列生成方法であって、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) を用いて、 $N(j)$ を周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i を用いて $1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = p(j) \cdot i + n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、条件を満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、部分行列ごとに生成することなく、いずれか任意の 2 行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように、 m 行 n 列の検査行列を一括して生成することができる。また、部分行列ごとに生成することなく、下三角行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成することができる。また、検査行列が下三角行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0035】

また、検査行列生成方法は、低密度パリティ検査符号における m 行 n 列の検査行列を生成するための検査行列生成方法であって、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素) と、周期リスト $Q = \{q(1), q(2), \dots, q(QL)\}$ ($q(1) \sim q(QL)$ は互いに素) とを用いて、 $N(j)$ を周期リスト P の要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し、 $N(0)$ を 0 であると定義し、 $M(j)$ を周期リスト Q の要素 $q(1)$ から要素 $q(j)$ までの値の合計であると定義し、且つ $M(0)$ を 0 であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n - m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $M(j-1) + 1 \leq r \leq M(j)$ であれば、整数 i を用いて $n - m + 1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = q(j) \cdot i + n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、2種類の周期リストにもとづいて、いずれか任意の 2 行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように、 m 行 n 列の検査行列を一括して生成することができる。また、下三角行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。

【0036】

また、検査行列生成方法は、 $F(j) = -N(j-1)$ とするように構成されていてもよい。

【0037】

また、検査行列生成方法は、 $F(j) = n - m$ とするように構成されていてもよい。

【0038】

また、検査行列生成方法は、先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成することによって、周期リスト P を定めるように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0039】

また、検査行列生成方法は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0040】

また、検査行列生成方法は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ入力すれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0041】

本発明によるデータ伝送システムは、データを符号化する符号化装置と、符号化されたデータを復号する復号装置とを含むデータ伝送システムであって、符号化装置は、所定のパラメータにもとづいて、検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、生成した検査行列を用いてデータを低密度パリティ符号化して符号語に変換し、変換した符号語を、伝送路を介して復号装置に送信し、復号装置は、符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて、検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、符号化装置から受信した符号語を、生成した検査行列を用いて復号し符号化前のデータに変換することを特徴とする。

【0042】

また、符号化装置は、パラメータとしての所定の周期リスト P にもとづいて検査行列を生成し、復号装置は、符号化装置が用いる周期リスト P と同一の周期リスト P にもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P さえ定めれば、容易に検査行列を生成することができる。

【0043】

また、符号化装置は、パラメータとしての周期リスト P の先頭の要素 $p(1)$ にもとづいて、要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成することによって、周期リスト P を定め、定めた周期リストにもとづいて検査行列を生成し、復号装置は、符号化装置が用いる要素 $p(1)$ と同一の要素 $p(1)$ にもとづいて、要素 $p(2)$ から要素 $p(PL)$ までを生成することによって、周期リスト P を定め、定めた周期リストにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ定めれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0044】

また、符号化装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成し、復号装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、先行する要素 $p(1)$ から要素 $p(j-1)$ までの全ての要素と互いに素であるという条件を満たす値のうちの最小値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リスト P の先頭要素さえ定めれば、周期リスト P が自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0045】

また、符号化装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であるという条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成し、復号装置は、周期リスト P の要素 $p(j)$ を、1つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数であると

いう条件を満たす値のうちの最小の値となるように生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、周期リストPの先頭要素さえ定めれば、周期リストPが自動的に決定され、容易に検査行列を生成することができる。

【0046】

また、符号化装置は、伝送路を介してパラメータを復号装置に送信し、復号装置は、符号化装置から受信したパラメータを用いることによって、符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、符号化装置が用いる周期リストと、復号装置が用いる周期リストとの同一性を容易に保つことができる。

【0047】

また、復号装置は、伝送路を介してパラメータを符号化装置に送信し、符号化装置は、復号装置から受信したパラメータを用いることによって、復号装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、符号化装置が用いる周期リストと、復号装置が用いる周期リストとの同一性を容易に保つことができる。

【0048】

また、符号化装置は、所定時間ごとにパラメータを伝送路を介して復号装置に送信し、復号装置は、符号化装置から受信したパラメータを用いることによって、符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、符号化装置が用いる周期リストと、復号装置が用いる周期リストとの同一性を容易に保つことができる。

【0049】

また、復号装置は、所定時間ごとにパラメータを伝送路を介して符号化装置に送信し、符号化装置は、復号装置から受信したパラメータを用いることによって、復号装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、符号化装置が用いる周期リストと、復号装置が用いる周期リストとの同一性を容易に保つことができる。

【0050】

また、符号化装置は、パラメータの内容が更新された場合に、パラメータを伝送路を介して復号装置に送信し、復号装置は、符号化装置から受信したパラメータを用いることによって、符号化装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、符号化装置が用いる周期リストと、復号装置が用いる周期リストとの同一性をリアルタイムに維持することができる。

【0051】

また、復号装置は、パラメータの内容が更新された場合に、パラメータを伝送路を介して符号化装置に送信し、符号化装置は、復号装置から受信したパラメータを用いることによって、復号装置が用いるパラメータと同一のパラメータにもとづいて検査行列を生成するように構成されていてもよい。そのような構成によれば、符号化装置が用いる周期リストと、復号装置が用いる周期リストとの同一性をリアルタイムに維持することができる。

【0052】

本発明による符号化装置は、所定のパラメータにもとづいて、検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、生成した検査行列を用いてデータを低密度パリティ符号化して符号語に変換し、変換した符号語を、伝送路を介して復号装置に送信することを特徴とする。

【0053】

本発明による復号装置は、符号化装置から、伝送路を介して符号語を受信し、所定のパラメータにもとづいて、検査行列生成方法を用いて検査行列を生成し、受信した符号語を、生成した検査行列を用いて復号し符号化前のデータに変換することを特徴とする。

【0054】

本発明による検査行列生成プログラムは、低密度パリティ検査符号におけるm行n列の

検査行列Hを生成させるための検査行列生成プログラムであって、コンピュータに、検査行列Hを、m行k列の部分行列H1とm行m列の部分行列H2とで構成する処理と($m = n - k$)、部分行列H1に含まれるいずれの2つの行を選んだ場合であっても、2つの行の周期が素となるか、または2つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように、部分行列H1の各行の行列要素「1」の位置を決定する処理とを実行させることを特徴とする。

【0055】

また、検査行列生成プログラムは、低密度パリティ検査符号におけるm行n列の検査行列を生成させるための検査行列生成プログラムであって、コンピュータに、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素)を用いて、 $N(j)$ を周期リストPの要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を0であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$ を用いて $1 \leq c \leq n - m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $c = n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する処理を実行させるように構成されていてもよい。そのような構成によれば、部分行列ごとに生成することなく、いずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように、m行n列の検査行列を一括して生成することができる。また、部分行列ごとに生成することなく、単位行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成することができる。また、検査行列Hが単位行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0056】

また、検査行列生成プログラムは、低密度パリティ検査符号におけるm行n列の検査行列を生成させるための検査行列生成プログラムであって、コンピュータに、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素)を用いて、 $N(j)$ を周期リストPの要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $N(0)$ を0であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i を用いて $1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = p(j) \cdot i + n - m + r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、条件を満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する処理を実行させるように構成されていてもよい。そのような構成によれば、部分行列ごとに生成することなく、いずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように、m行n列の検査行列を一括して生成することができる。また、部分行列ごとに生成することなく、下三角行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成することができる。また、検査行列が下三角行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0057】

また、検査行列生成プログラムは、低密度パリティ検査符号におけるm行n列の検査行列を生成させるための検査行列生成プログラムであって、コンピュータに、周期リスト $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ ($p(1) \sim p(PL)$ は互いに素)と、周期リスト $Q = \{q(1), q(2), \dots, q(QL)\}$ ($q(1) \sim q(QL)$ は互いに素)とを用いて、 $N(j)$ を周期リストPの要素 $p(1)$ から要素 $p(j)$ までの値の合計であると定義し、 $N(0)$ を0であると定義し、 $M(j)$ を周期リストQの要素 $q(1)$ から要素 $q(j)$ までの値の合計であると定義し且つ $M(0)$ を0であると定義した場合に、 $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ であれば、整数 i および所定の値 $F(j)$

を用いて $1 \leq c \leq n-m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、 $M(j-1) + 1 \leq r \leq M(j)$ であれば、整数 i を用いて $n-m+1 \leq c \leq n-m+r$ 且つ $c = q(j) \cdot i + n-m+r$ の条件を満たす列 c に対応する行列要素を「1」とし、いずれの条件をも満たさない行列要素を「0」とすることによって検査行列の行 r を生成する処理を実行させるように構成されていてもよい。そのような構成によれば、2種類の周期リストにもとづいて、いずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように、 m 行 n 列の検査行列を一括して生成することができる。また、下三角行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。

【発明の効果】

【0058】

本発明によれば、検査行列 H の部分行列 H_1 を、いずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように生成する。2つの行が互いに素となる周期をもつようにした場合には、2つの行に共有列が存在しないようにできる。また、周期が同一である場合に互いに異なる位相をもつようにした場合には、2つの行に共有列が最大でも1つしか存在しないようにできる。よって、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止できる。また、互いに素である複数の周期を用いて行を生成するので、行重みの均一化によるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。さらに、周期と位相が定まれば、簡易に部分行列 H_1 を生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0059】

実施の形態1.

以下、本発明の第1の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明による検査行列生成方法を適用した伝送路符号化器の構成の一例を示すブロック図である。図1に示すように、伝送路符号化器は、処理部50、メモリ51および入出力部52を含む。

【0060】

図1において、処理部50は、LDPC符号の検査行列を生成し、生成した検査行列をメモリ51に書き込む。また、処理部50は、メモリ51からデータ列（メッセージ）を読み出し、読み出したデータ列をLDPC符号化して符号語を生成する。そして、処理部50は、生成した符号語を入出力部52に出力する。

【0061】

メモリ51は、検査行列およびデータ列などを記憶する。入出力部52は、処理部50からの符号語を外部に出力する。例えば、入出力部52は、伝送路を介して符号語を伝送路復号器に送信する。入出力部52は、データ列が外部から入力された場合には、入力されたデータ列をメモリ51に書き込む。

【0062】

また、伝送路符号化器は、処理部50に検査行列の生成処理やデータ列の符号化処理を実行させるための各種プログラムを記憶する記憶部（図示せず）を備える。例えば、伝送路符号化器の記憶部は、コンピュータに、検査行列 H を、 m 行 k 列の部分行列 H_1 と m 行 m 列の部分行列 H_2 とで構成する処理と（ $m = n - k$ ）、部分行列 H_1 に含まれるいずれの2つの行を選んだ場合であっても、2つの行の周期が素となるか、または2つの行の周期が同一で位相が異なるという条件を満たすように、部分行列 H_1 の各行の行列要素「1」の位置を決定する処理とを実行させるための検査行列生成プログラムを記憶する。

【0063】

本実施の形態では、メッセージ長が k であり符号語長が n である場合に、処理部50がLDPC符号の符号化に用いる m 行 n 列の検査行列 H を生成する場合を説明する。ここで、 $m = n - k$ である。本実施の形態において、処理部50は、検査行列 H を、左側の m 行

k 列の部分行列 H 1 と右側の m 行 m 列の部分行列 H 2 とから構成する。

【0064】

本実施の形態では、処理部 50 は、部分行列 H 2 を単位行列として生成する。また、処理部 50 は、部分行列 H 1 を所定の条件に従って行列要素「1」または「0」をもつ行列として生成する。そして、処理部 50 は、部分行列 H 1 と部分行列 H 2 とを結合することによって検査行列 H を生成する。以下、部分行列 H 1 の生成処理を説明する。

【0065】

処理部 50 は、各行において、所定の周期と所定の位相とによって定まる位置の行列要素が「1」となるようにし、他の行列要素が「0」となるように部分行列 H 1 を生成する。ここで、周期とは、行の中に含まれる要素「1」と要素「1」との距離を示す。本実施の形態では、行の中に要素「1」が周期ごとに配置される。また、位相とは、行の中にある要素「1」のうち最も左側にある要素の列の位置である。位相は、1 から周期までの値をとる。周期と位相とが定めれば、行の中の要素「1」の位置および要素「1」の個数が決定される。

【0066】

本実施の形態では、処理部 50 は、部分行列 H 1 に含まれる任意の 2 行を選んだ場合に、2 つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように部分行列 H 1 を生成する。処理部 50 は、部分行列 H 1 の各行を順に生成する際に、次の行の生成に用いる周期および位相を、それまでに生成した全ての行の周期および位相に対して、2 つの条件のうちのいずれかを満たすように選択する。

【0067】

図 2 は、処理部 50 が部分行列 H 1 を生成する処理経過の一例を示す流れ図である。処理部 50 は、周期リスト $P = \{p_1, p_2, \dots, p_j\}$ を設定する（ステップ S 110）。例えば、ユーザによって周期リスト P の各要素が入力されると、処理部 50 は、入力された各要素を含む周期リスト P を設定する。また、例えば、上位のアプリケーションに従って各要素が入力されると、処理部 50 は、入力された各要素を含む周期リスト P を設定する。ステップ S 110 において、周期リスト P の各要素は互いに素となるように設定され、周期リスト P の要素の値の合計が m 以上となるように設定される。

【0068】

処理部 50 は、部分行列 H 1 の各行の生成に用いる各変数を初期化する（ステップ S 120）。本実施の形態では、周期を示す周期変数 a、変数 b、および部分行列 H 1 の各行のうちの生成対象の行を示す生成対象行番号 r が変数として用いられる。なお、本実施の形態では、変数 b の値が各行の要素「1」のうち最も左側にある要素の位置と一致する。従って、本実施の形態では、変数 b が位相を示す位相変数としての役割を果たす。

【0069】

ステップ S 120 において、処理部 50 は、周期リスト P の先頭要素 p_1 を周期変数 a の初期値として設定し、変数 b の初期値を 1 に設定する。また、処理部 50 は、生成対象行番号 r の初期値を 1 に設定する。

【0070】

処理部 50 は、生成対象行番号 r に対応する行を生成する（ステップ S 121）。ステップ S 121 において、処理部 50 は、生成式 $c = a \cdot i + b$ を用いて部分行列 H 1 の行 r を生成する。処理部 50 は、生成式 $c = a \cdot i + b$ で表される列 c に位置する行列要素を「1」とし、それ以外の行列要素を「0」として行 r を生成する。ここで、i は、整数である。

【0071】

処理部 50 は、生成した行 r が部分行列 H 1 の最終行であるか否かを判断する（ステップ S 122）。最終行であると判断した場合には、処理部 50 は、部分行列 H 1 の生成の処理を終了する。最終行でないと判断した場合には、処理部 50 は、変数 b および生成対象行番号 r を更新する（ステップ S 123）。ステップ S 123 において、処理部 50 は

、生成対象行番号 r に 1 を加算する。また、処理部 50 は、変数 b に 1 を加算する。

【0072】

変数 b を更新すると、処理部 50 は、変数 b が周期変数 a の値以下であるか否かを判断する（ステップ S124）。 $b \leq a$ であると判断した場合には、処理部 50 は、ステップ S121 の処理に戻り、ステップ S121 以降の処理を繰り返し実行する。

【0073】

$b \leq a$ でないと判断した場合には、処理部 50 は、周期変数 a を更新する（ステップ S125）。ステップ S125 において、処理部 50 は、周期リスト P から次の要素の値を読み込んで周期変数 a の値に設定する。また、処理部 50 は、変数 b の値を 1 に設定する。そして、処理部 50 は、ステップ S121 の処理に戻り、ステップ S121 以降の処理を繰り返し実行する。

【0074】

図 3 は、処理部 50 が生成する検査行列 H の一例を示す説明図である。図 3 に示す検査行列 H は、メッセージ長が $k = 12$ であり符号語長が $n = 20$ であるとして生成された行列である。従って、図 3 に示すように、検査行列 H の行数は、 $m = n - k = 8$ である。また、図 3 に示すように、処理部 50 は、検査行列 H のうちの部分行列 H_2 を単位行列として生成している。また、検査行列 H のうちの部分行列 H_1 は、ステップ S110 において周期リスト $P = \{3, 4, 5\}$ と設定されて、図 2 に示す処理に従って生成されたものである。

【0075】

例えば、ステップ S120 において、処理部 50 は、周期リスト P の先頭要素 3 を周期変数 a の初期値として設定し、変数 b および生成処理対象番号 r の初期値をそれぞれ 1 に設定する。ステップ S121 において、処理部 50 は、これらの変数 a 、 b を用いて、 $i = 0, 1, 2, 3$ の場合にそれぞれ $c = 1, 4, 7, 10$ と求める。そして、図 3 に示すように、処理部 50 は、部分行列 H_1 の 1 行目の要素のうち、1, 4, 7, 10 列目の要素を「1」とし、それ以外の要素を「0」として行を生成する。

【0076】

次に、ステップ S123 において、変数 b および生成処理対象番号 r をそれぞれ 2 に更新すると、処理部 50 は、周期変数 $a = 3$ および変数 $b = 2$ を用いて、 $i = 0, 1, 2, 3$ の場合にそれぞれ $c = 2, 5, 8, 11$ と求める。そして、図 3 に示すように、処理部 50 は、部分行列 H_1 の 2 行目の要素のうち、2, 5, 8, 11 列目の要素を「1」とし、それ以外の要素を「0」として行を生成する。

【0077】

部分行列 H_1 の 3 行目を生成し変数 b を 4 に更新すると、ステップ S124 において、処理部 50 は、変数 $b = 4$ が周期変数 $a = 3$ 以下でないと判断し、周波数変数 a を 4 に更新する。そして、処理部 50 は、図 3 に示すように、周波数変数 $a = 4$ を用いて部分行列 H_1 の 4 行目から 7 行目までを生成する。

【0078】

部分行列 H_1 の 8 行目を生成すると、処理部 50 は、生成した行 $r = 8$ が最終行であると判断して処理を終了する。以上の手順によって、部分行列 H_1 が生成される。そして、処理部 50 は、部分行列 H_1 と部分行列 H_2 とを結合して、図 3 に示す検査行列 H を生成する。

【0079】

図 3 に示すように、本例では、部分行列 H_1 において、周期 3 および周期 4 についてはそれぞれ全ての位相（1 から周期の値までの位相）に対応する行が存在し、周期 5 については位相 1 に対応する行だけが存在する。

【0080】

図 3 に示すように、部分行列 H_1 の 1 行目から 3 行目までのいずれかの行と、4 行目から 7 行目までのいずれかの行と、8 行目の行とは、互いに周期が素となっており、共有列が最大でも 1 つしか存在しない。また、1 行目から 3 行目までのいずれか 2 つの行を選ん

だ場合、周期は3で同一であるが位相が互いに異なっており共有列は存在しない。同様に、4行目から7行までのいずれか2つの行を選んだ場合、周期は4で同一であるが位相が互いに異なっており共有列は存在しない。

【0081】

なお、ステップS121において、生成式として $c = a \cdot i + b$ という条件を用いるのではなく、生成式として $c = a \cdot i + k + r$ を用いてもよい。そのようにすれば、検査行列H全体を見た場合の部分行列H1およびH2の位相を合わせることができる。

【0082】

また、周期リストPは複数の要素を含むものであるが、これら複数の要素は、1つのパラメータから生成するようにすることもできる。例えば、周期リストPの要素は、互いに素であるという条件だけでなく、並びが昇順であるという条件を満たすものとする。そして、周期リストPの要素は2つの条件を満たす値のうちの最小値であると定義すると、パラメータとして先頭要素p1だけを定めれば周期リストP全体の各要素を決定できる。

【0083】

また、先頭要素p1以外の要素p_iは1つ前の要素p_(i-1)より大きい素数のうちの最小の素数であると定義しても、先頭要素p1だけを定めれば周期リストP全体を決定できる。

【0084】

本実施の形態ではステップS110において周期リストP全体を設定する場合を説明したが、周期リストPの各要素を1つのパラメータから生成するための定義を取り入れることによって各要素を決定的に導出できるようにしてもよい。この場合、ステップS125において、処理部50は、周期変数aを更新する度に周期リストPの要素を生成してもよい。例えば、処理部50は、ステップS110において要素p1のみを設定し、定義された条件を満たす次の値をステップS125で求めるようにしてもよい。そのようにすれば、ステップS110において周期リストP全体を設定するのと実質的に等価な動作を実現することができる。

【0085】

また、本実施の形態では、伝送路符号化器がLDPC符号化に用いるために検査行列Hを生成する場合を説明したが、検査行列生成方法は、伝送路復号器が符号語の復号に用いるために検査行列Hを生成する場合にも適用できる。

【0086】

以上のように、本実施の形態によれば、低密度パリティ検査符号に用いるm行n列の検査行列Hは、左側のm行k列の部分行列H1と右側のm行m列の部分行列H2とから構成される。また、処理部50は、部分行列H1に含まれるいずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ（条件a）、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつ（条件b）という条件を満たすように部分行列H1を生成する。また、本実施の形態によれば、処理部50は、部分行列H2を単位行列として生成する。

【0087】

条件bに従って生成された部分行列H1の行を含む検査行列Hの行のいずれの2つの行にも、共有列は常に存在しない。よって、長さ4の短いループが発生しないようにでき、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0088】

また、条件aに従って生成された部分行列H1の行を含む検査行列Hの行のいずれの2つの行にも、周期の最小公倍数ごとに共有列が存在する。この場合、2つの行の周期は互いに素であるので最小公倍数は周期の積である。周期の積がk以上になるように周期を選択すれば、2つの行に共有列は最大でも1つしか存在しないようにできる。よって、長さ4の短いループが発生しないようにでき、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0089】

また、互いに素である複数の周期を用いて行を生成するので、行重みを不均一にすること

とができる。よって、行重みの均一化によるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0090】

さらに、周期と位相が定めれば、簡易な生成式を用いて容易に部分行列H1を生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列Hを生成することができる。また、簡易な方法で部分行列H1を生成できるので、検査行列の生成コストを低減することができる。

【0091】

また、本実施の形態によれば、部分行列H2を単位行列として生成するので、入力メッセージがそのまま符号語の一部となる。そのため、処理部50は、LDPC符号化を行う際に、入力メッセージに追加される冗長部のみの算出すればよく、検査行列Hが単位行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0092】

実施の形態2.

次に、本発明の第2の実施の形態を図面を参照して説明する。本実施の形態において、伝送路符号化器の構成は、第1の実施の形態で示したものと同様である。本実施の形態では、伝送路符号化器の処理部50は、第1の実施の形態と同様の処理に従って部分行列H1を生成する。また、本実施の形態では、処理部50は、部分行列H2を下三角行列として生成する。

【0093】

図4は、処理部50が部分行列H2を生成する処理経過の一例を示す流れ図である。本実施の形態では、図4に示すステップS221において、処理部50は、第1の実施の形態のステップS121とは異なる生成式を用いて各行を生成する。なお、ステップS221以外の処理は、第1の実施の形態で示した処理と同様である。

【0094】

ステップS221において、処理部50は、生成式 $c = a \cdot i + r$ を用いて部分行列H2の行rを生成する。処理部50は、生成式 $c = a \cdot i + r$ で表される列cに位置する行列要素を「1」とし、それ以外の行列要素を「0」として行rを生成する。ここで、iは、0または負の整数である。なお、周期リストPは、部分行列H1を生成する場合と部分行列H2を生成する場合とで同一であってもよいし、異なってもよい。

【0095】

図5は、処理部50が生成する検査行列Hの他の例を示す説明図である。図5に示す検査行列Hは、図3に示す検査行列Hと同様に、メッセージ長を $k = 12$ 、符号語長を $n = 20$ および検査行列Hの行数を $m = 8$ として生成されたものである。また、図5に示す部分行列H1およびH2は、ともに周期リスト $P = \{4, 5\}$ として生成されたものである。図5に示すように、処理部50は、図4に示す手順に従って、部分行列H2を下三角行列として生成する。

【0096】

図5に示すように、部分行列H1を生成する場合と同様に、部分行列H2に含まれるいずれか任意の2行を選んだ場合に、2つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように各行を生成することによって、容易に部分行列H2を下三角行列として生成することができる。

【0097】

なお、本実施の形態では、部分行列H2が下三角行列である場合を説明したが、検査行列Hの行や列を任意に入れ替えてもエラー訂正特性は同じである。例えば、検査行列Hに含まれる要素の上下を反転して部分行列H2が上三角形行列となるようにしてもよく、LDPC符号化の意味合いは変わらない。また、検査行列Hに含まれる要素の左右を反転して、検査行列Hの左側のm行m列の部分を三角行列としてもよく、LDPC符号化の意味合いは変わらない。

【0098】

また、周期リストPの複数の要素を、1つのパラメータから生成するようにしてもよい。例えば、周期リストPの要素は、互いに素であるという条件だけでなく、並びが昇順であるという2つの条件を満たす値のうちの最小値であると定義してもよい。そのようにすれば、パラメータとして先頭要素 p_1 だけを定めれば周期リストP全体の各要素を決定できる。また、先頭要素 p_1 以外の要素 p_i は1つ前の要素 $p_{(i-1)}$ より大きい素数のうちの最小の素数であると定義することによって、先頭要素 p_1 だけを定めれば周期リストP全体を決定できるようにしてもよい。

【0099】

また、部分行列H2を生成する際に、周期リストPが1つの要素だけを含むように $P = \{p\}$ と設定し、要素 p が m 以上の値となるように設定すると、処理部50は、部分行列H2を単位行列として生成する。従って、周期リスト $P = \{p\}$ 且つ p を m 以上に設定すると、第1の実施の形態と同様の検査行列Hを生成することができる。

【0100】

また、本実施の形態では、伝送路符号化器がLDPC符号化に用いるために検査行列Hを生成する場合を説明したが、検査行列生成方法は、伝送路復号器が符号語の復号に用いるために検査行列Hを生成する場合にも適用できる。

【0101】

以上のように、本実施の形態によれば、処理部50は、部分行列H2を下三角行列または単位行列として生成する。部分行列H2を下三角行列として生成した場合、条件bに従って生成された検査行列Hのいずれの2つの行にも、共有列は常に存在しない。よって、長さ4の短いループが発生しないようにでき、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0102】

また、部分行列H2を下三角行列として生成した場合、条件aに従って生成された検査行列Hのいずれか2つの行には、周期の最小公倍数ごとに共有列が存在する。この場合、2つの行の周期は互いに素であるので最小公倍数は周期の積である。周期の積が n 以上になるように周期を選択すれば、部分行列H1の2つの行に共有列が最大でも1つしか存在しないようにできるとともに、部分行列H2の2つの行に共有列が最大でも1つしか存在しないようにできる。よって、長さ4の短いループが発生しないようにでき、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0103】

また、部分行列H2を単位行列として生成した場合、条件bに従って生成された検査行列Hのいずれの2つの行にも、共有列は常に存在しない。よって、長さ4の短いループが発生しないようにでき、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0104】

また、部分行列H2を単位行列として生成した場合、条件aに従って生成された検査行列Hのいずれか2つの行には、周期の最小公倍数ごとに共有列が存在する。この場合、2つの行の周期は互いに素であるので最小公倍数は周期の積である。周期の積が k 以上になるように周期を選択すれば、検査行列Hの2つの行に共有列が最大でも1つしか存在しないようにできる。よって、長さ4の短いループが発生しないようにでき、二部グラフ上での短いループによるエラー訂正の性能劣化を防止することができる。

【0105】

また、本実施の形態によれば、部分行列H2を下三角行列または単位行列として生成するので、入力メッセージがそのまま符号語の一部となる。そのため、処理部50は、LDPC符号化を行う際に、入力メッセージに追加される冗長部のみの算出すればよく、検査行列Hが単位行列または下三角行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0106】

実施の形態 3.

次に、本発明の第 3 の実施の形態を図面を参照して説明する。本実施の形態において、伝送路符号化器の構成は、第 1 の実施の形態および第 2 の実施の形態で示したものと同様である。本実施の形態では、伝送路符号化器の処理部 50 は、部分行列 H 1 および部分行列 H 2 を別々に生成するのではなく、部分行列 H 1 および部分行列 H 2 を同時に生成する。

【0107】

図 6 は、処理部 50 が検査行列 H を生成する処理経過の一例を示す流れ図である。本実施の形態では、図 6 に示すステップ S 3 2 1 において、処理部 50 は、第 1 の実施の形態および第 2 の実施の形態とは異なる生成式を用いて各行を生成する。なお、ステップ S 3 2 1 以外の処理は、第 1 の実施の形態および第 2 の実施の形態と同様である。

【0108】

ステップ S 3 2 1 において、処理部 50 は、生成式 $c = a \cdot i + k + r$ を用いて検査行列 H を生成する。処理部 50 は、生成式 $c = a \cdot i + k + r$ で表される列 c に位置する行列要素を「1」とし、それ以外の行列要素を「0」として行 r を生成する。ここで、i は、0 または負の整数である。

【0109】

図 7 は、処理部 50 が生成する検査行列 H のさらに他の例を示す説明図である。図 7 に示す検査行列 H は、図 3 および図 5 に示す検査行列 H と同様に、メッセージ長を $k = 12$ 、符号語長を $n = 20$ および検査行列 H の行数を $m = 8$ として生成されたものである。また、図 7 に示す検査行列 H は、ステップ S 1 1 0 において周期リスト $P = \{4, 5\}$ と設定されて生成されたものである。

【0110】

図 7 に示すように、処理部 50 は、図 6 に示す手順に従って、検査行列 H に含まれるいずれか任意の 2 行を選んだ場合に、2 つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように各行を生成する。従って、いずれか任意の 2 行に共有列が存在しないか、または最大でも 1 つしか存在しないようにできる。また、図 7 に示すように、処理部 50 は、図 6 に示す手順に従って、検査行列 H のうち部分行列 H 2 を下三角行列として生成する。

【0111】

なお、本実施の形態では、検査行列 H のうち部分行列 H 2 が下三角行列である場合を説明したが、検査行列 H の行や列を任意に入れ替えてもエラー訂正特性は同じである。例えば、検査行列 H に含まれる要素の上下を反転して部分行列 H 2 が上三角形行列となるようにしてもよく、LDPC 符号化の意味合いは変わらない。また、検査行列 H に含まれる要素の左右を反転して、検査行列 H の左側の m 行 m 列の部分を実行三角行列としてもよく、LDPC 符号化の意味合いは変わらない。

【0112】

また、本実施の形態では、図 6 に示す手順に従って処理を実行することにより、処理部 50 は、以下の条件に従って検査行列 H を生成する。ステップ S 1 1 0 において設定される周期リスト P を $P = \{p(1), p(2), \dots, p(PL)\}$ とし、 $N(j)$ を周期リスト P の 1 番目から j 番目までの要素の値の合計とする。また、 $N(0) = 0$ と定義する。生成対象行番号 r が $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ を満たす場合には、処理部 50 は、周期変数 $a = p(j)$ を用いて、 $1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = p(j) \cdot i + n - m + r$ を満たす列 c の行列要素を「1」とし、それ以外の行列要素を「0」として行 r を生成する。ここで、i は、整数である。

【0113】

また、本実施の形態ではステップ S 3 2 1 において $1 \leq c \leq n - m + r$ 且つ $c = p(j) \cdot i + n - m + r$ を満たす列 c の要素を「1」とする場合を説明したが、要素を「1」とする条件は、本実施の形態で示したものに限られない。例えば、生成対象行番号 r が $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ を満たす場合に、処理部 50 は、周期リスト P の要素番号 j を用いて定まる所定の値 $F(j)$ を用いて、「1」とする要素を定めてもよい。この場

合、処理部 50 は、ステップ S 3 2 1 において、 $1 \leq c \leq n-m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ を満たす列 c 、および $c = n-m+r$ を満たす列 c に位置する行列要素を「1」とし、それ以外の行列要素を「0」として行 r を生成する。そのようにすれば、検査行列 H のうち $H 2$ に相当する部分を単位行列として生成することができる。

【0114】

要素番号 j を用いて定まる値 $F(j)$ として、例えば、 $F(j) = -N(j-1)$ を用いてもよい。また、例えば、 $F(j) = n-m$ を用いてもよい。

【0115】

また、本実施の形態では、ステップ S 1 1 0 において周期リストが 1 つだけ設定される場合を説明したが、設定される周期リストは 1 つに限られない。例えば、周期リスト P に加えて、ステップ S 1 1 0 において周期リスト $Q = \{q(1), q(2), \dots, q(Q)\}$ を設定してもよい。この場合に、 $M(j)$ をリスト Q の 1 番目から j 番目までの要素の値の合計とし、 $M(0) = 0$ と定義する。そして、処理部 50 は、2 つの条件を用いて「1」とする要素を定めてもよい。

【0116】

例えば、生成対象行番号 r が $N(j-1) + 1 \leq r \leq N(j)$ を満たす場合には、処理部 50 は、ステップ S 3 2 1 において、 $1 \leq c \leq n-m$ 且つ $c = p(j) \cdot i + r + F(j)$ を満たす列 c に位置する行列要素を「1」とする。更に、生成対象行番号 r が $M(j-1) + 1 \leq r \leq M(j)$ を満たす場合には、処理部 50 は、 $n-m+1 \leq c \leq n-m+r$ 且つ $c = q(j) \cdot i + n-m+r$ を満たす列 c に位置する行列要素を「1」とし、それ以外の行列要素を「0」として行 r を生成する。なお、 $F(j)$ として、例えば、 $F(j) = -N(j-1)$ を用いてもよく、 $F(j) = n-m$ を用いてもよい。

【0117】

また、周期リスト P の複数の要素を、1 つのパラメータから生成するようにしてもよい。例えば、周期リスト P の要素は、互いに素であるという条件だけでなく、並びが昇順であるという 2 つの条件を満たす値のうちの最小値であると定義してもよい。そのようにすれば、パラメータとして先頭要素 p_1 だけを定めれば周期リスト P 全体の各要素を決定できる。また、先頭要素 p_1 以外の要素 $p(j)$ は 1 つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数のうちの最小の素数であると定義することによって、先頭要素 p_1 だけを定めれば周期リスト P 全体を決定できるようにしてもよい。

【0118】

また、本実施の形態では、伝送路符号化器が LDPC 符号化に用いるための検査行列 H を生成する場合を説明したが、検査行列生成方法は、伝送路復号器が符号語の復号に用いるための検査行列 H を生成する場合にも適用できる。

【0119】

以上のように、本実施の形態によれば、部分行列ごとに生成することなく、いずれか任意の 2 行を選んだ場合に、2 つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように、検査行列を一括して生成することができる。また、部分行列ごとに生成することなく、下三角行列または単位行列を含むように検査行列を一括して生成することができる。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成することができる。また、検査行列が下三角行列や単位行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0120】

実施の形態 4.

さらに、本発明の第 4 の実施の形態を図面を参照して説明する。本実施の形態では、第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態までに示した伝送路符号化器および伝送路復号器のうちのいずれかを適用したデータ伝送システムを説明する。本発明によるデータ伝送システムの構成は、図 8 に示すものと同様である。データ発生器 10 は、伝送すべきデータ列を生成すると、生成したデータ列を伝送路符号化器 11 に出力する。すなわち、データ発

生器 10 は、発生したデータ列を伝送路符号化器 11 に供給する。

【0121】

伝送路符号化器 11 は、第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態までに示した検査行列生成方法を実現する構成のいずれかを実装している。例えば、伝送路符号化器 11 は、検査行列を生成するための検査行列生成プログラムがインストールされている。伝送路符号化器 11 は、周期リスト P にもとづいて検査行列 H を生成する。また、伝送路符号化器 11 は、データ発生器 10 から供給されたデータ列を、生成した検査行列 H を用いて符号語に変換する。そして、伝送路符号化器 11 は、伝送路 12 を介して符号語を伝送路復号器 13 に送信する。

【0122】

伝送路復号器 13 は、検査行列生成方法を実現する構成を実装している。例えば、伝送路復号器 13 は、検査行列を生成するための検査行列生成プログラムがインストールされている。伝送路復号器 13 は、周期リスト P にもとづいて検査行列 H を生成する。また、伝送路復号器 13 は、受信した符号語から、生成した検査行列 H を用いて、sum-product 復号法に従って元のデータ列を復元する。そして、伝送路復号器 13 は、復元したデータ列をデータ消費者 14 に出力する。すなわち、伝送路復号器 13 は、復元したデータ列をデータ消費者 14 に供給する。

【0123】

データ消費者 14 は、伝送路復号器 13 から供給されたデータ列を消費する。すなわち、データ消費者 14 は、供給されたデータ列を処理して表示や出力を行う。

【0124】

例えば、データ伝送システムがビデオデータ伝送用のシステムである場合には、データ発生器 10 はビデオ符号化器であり、データ発生器 10 が発生するデータ列はビットストリームである。また、データ消費者 14 はビデオ復号器である。

【0125】

伝送路符号化器 11 および伝送路復号器 13 は、それぞれ同じ周期リスト P を用いる。周期リスト P の同一性を保つ方法として、伝送路符号化器 11 および伝送路復号器 13 それぞれに同じ周期リスト P を初期値として与えておく方法を用いてもよい。また、外部入力によって周期リスト P が与えられる場合には、外部入力された周期リスト P を伝送路符号化器 11 および伝送路復号器 13 それぞれに通知するようにしてもよく、伝送路符号化器 11 および伝送路復号器 13 は、それぞれ通知された周期リスト P を用いるようにしてもよい。

【0126】

また、伝送路符号化器 11 が周期リスト P を設定し、設定した周期リスト P を伝送路符号化器 11 が伝送路 12 を介して伝送路復号器 13 に送信（通知）する方法を用いてもよい。この場合、伝送路 12 のエラー発生モデルによって周期リスト P の最適値が異なる。伝送路符号化器 11 は、周期リスト P を、符号語を送信するごとに送信（通知）してもよいし、周期リスト P を更新した時のみ送信（通知）するようにしてもよい。また、周期リスト P の変更を予め定めた所定の期間ごとに行う場合には、伝送路符号化器 11 は、所定の期間ごとに変更後の周期リスト P を伝送路復号器 13 に送信（通知）してもよい。

【0127】

また、伝送路 12 のエラー発生状況を最初に知るのは伝送路復号器 13 である。そのため、周期リスト P の設定を伝送路復号器 13 が行ってもよい。この場合、伝送路符号化器 11 が周期リスト P を伝送路復号器 13 に送信するのではなく、伝送路復号器 13 が伝送路 12 を介して周期リスト P を伝送路符号化器 11 に送信（通知）する。

【0128】

また、周期リスト P の各要素を 1 つのパラメータから生成するための定義を取り入れて、周期リスト P の先頭要素にもとづいて先頭要素以降の各要素を決定できる場合には、伝送路符号化器 11 または伝送路復号器 13 は、先頭要素のみを送信（通知）するようにしてもよい。例えば、周期リスト P の要素は、互いに素であるという条件だけでなく、並び

が昇順であるという2つの条件を満たす値のうちの最小値であると定義することによって、先頭要素 p_1 だけを定めれば周期リスト P 全体の各要素を決定できるようにしてもよい。また、先頭要素 p_1 以外の要素 $p(j)$ は1つ前の要素 $p(j-1)$ より大きい素数のうちの最小の素数であると定義することによって、先頭要素 p_1 だけを定めれば周期リスト P 全体を決定できるようにしてもよい。

【0129】

また、検査行列のサイズを変更したい場合には、伝送路符号化器 11 は、変更後の検査行列の行数や列数を、伝送路 12 を介して伝送路復号器 13 に送信（通知）するようにしてもよい。また、検査行列のサイズを変更したい場合には、伝送路復号器 13 は、変更後の検査行列の行数や列数を、伝送路 12 を介して伝送路符号化器 11 に送信（通知）するようにしてもよい。

【0130】

以上のように、本実施の形態によれば、データ伝送システムにおいて、伝送路符号化器 11 および伝送路復号器 13 は、第1の実施の形態から第3の実施の形態までに示した検査行列生成方法のうちのいずれかをを用いて検査行列を生成する。従って、低密度パリティ検査符号において、優れたエラー訂正特性を実現することができ、簡素な方法で検査行列を生成することができる。また、検査行列が下三角行列や単位行列を含まない場合と比較して生成行列の生成コストや符号化コストを低減することができる。

【0131】

また、本実施の形態によれば、周期リスト P または周期リスト P の先頭要素がわかれば検査行列を決定できる。そのため、伝送路符号化器 11 または伝送路復号器 13 のうちのいずれか一方が周期リスト P または先頭要素を他方に通知すれば、伝送路符号化器 11 および伝送路復号器 13 は、同じ検査行列を共有することができる。

【0132】

また、検査行列のサイズを変更する場合には、伝送路符号化器 11 または伝送路復号器 13 のうちのいずれか一方が行列サイズを他方に通知すれば、検査行列のサイズを容易に変更することができる。従って、伝送路 12 の特性やパケット交換網の輻輳状況が変化する場合であっても、データ伝送の時点で伝送に最適な検査行列を容易に利用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0133】

本発明による検査行列生成方法は、データ列をLDPC符号化するために用いる検査行列を、データ伝送システムに含まれる伝送路符号化器が生成する場合に適用できる。また、検査行列生成方法は、受信した符号語を復号するために用いる検査行列を、データ伝送システムに含まれる伝送路復号器が生成する場合に適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0134】

【図1】本発明による検査行列作成方法を適用した伝送路符号化器の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】処理部50が部分行列 H_1 を生成する処理経過の一例を示す流れ図である。

【図3】処理部50が生成する検査行列 H の一例を示す説明図である。

【図4】処理部50が部分行列 H_2 を生成する処理経過の一例を示す流れ図である。

【図5】処理部50が生成する検査行列 H の他の例を示す説明図である。

【図6】処理部50が検査行列 H を生成する処理経過の一例を示す流れ図である。

【図7】処理部50が生成する検査行列 H のさらに他の例を示す説明図である。


【図8】データ伝送システムの構成の一例を示すブロック図である。

【図9】レギュラLDPC符号の検査行列の一例を示す説明図である。

【図10】検査行列に対応する二部グラフの例を示す説明図である。

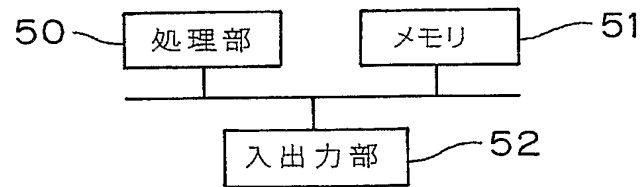
【符号の説明】

【0135】

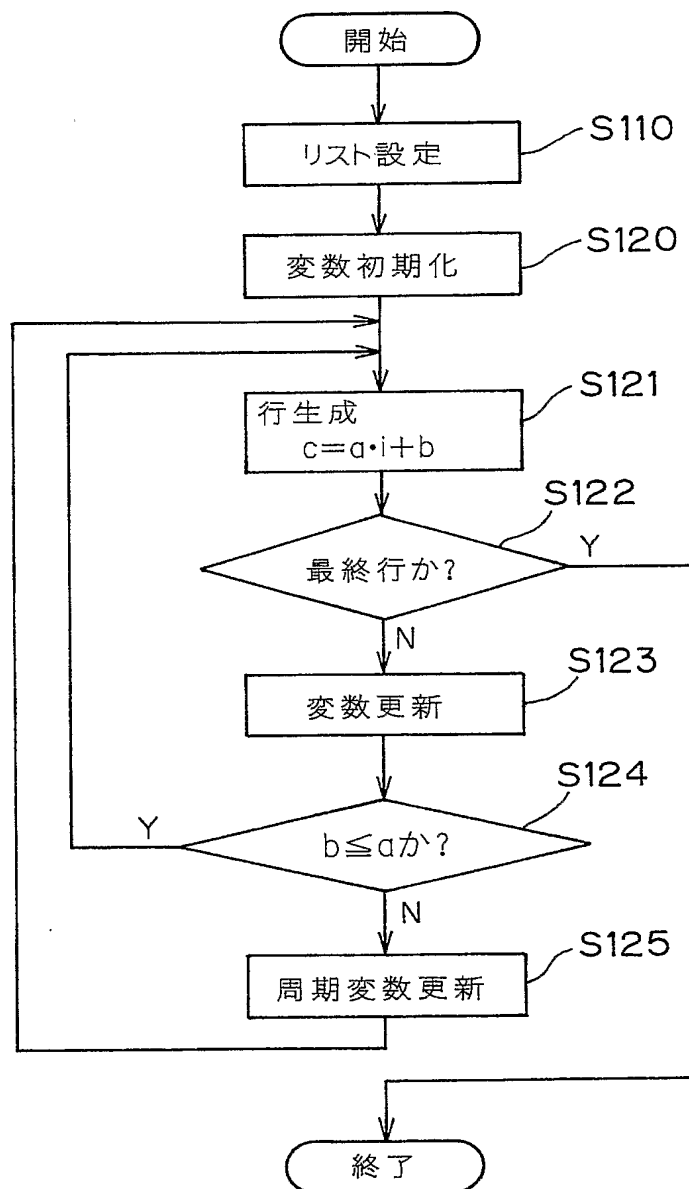


5 0 処理部
5 1 メモリ
5 2 入出力部

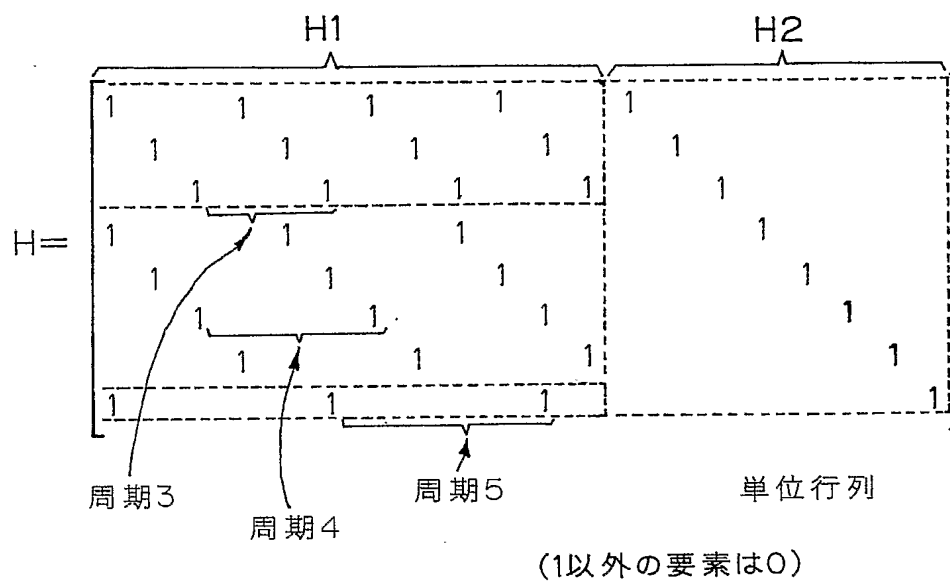
【書類名】 図面
【図 1】



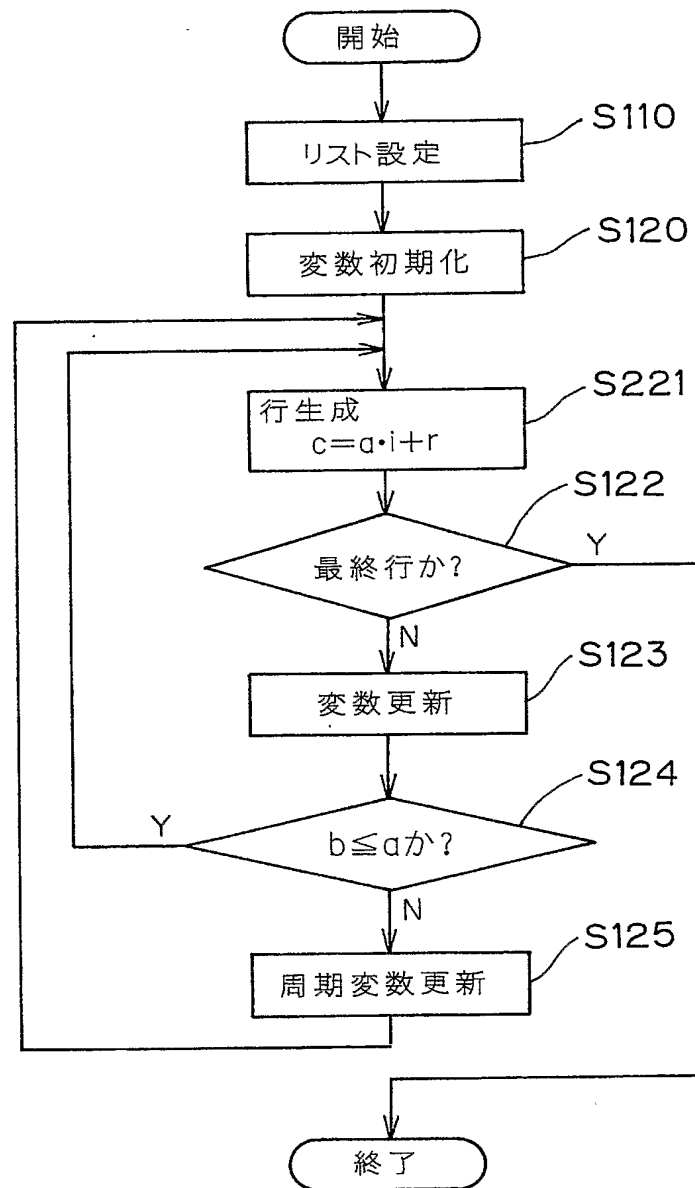
【図 2】



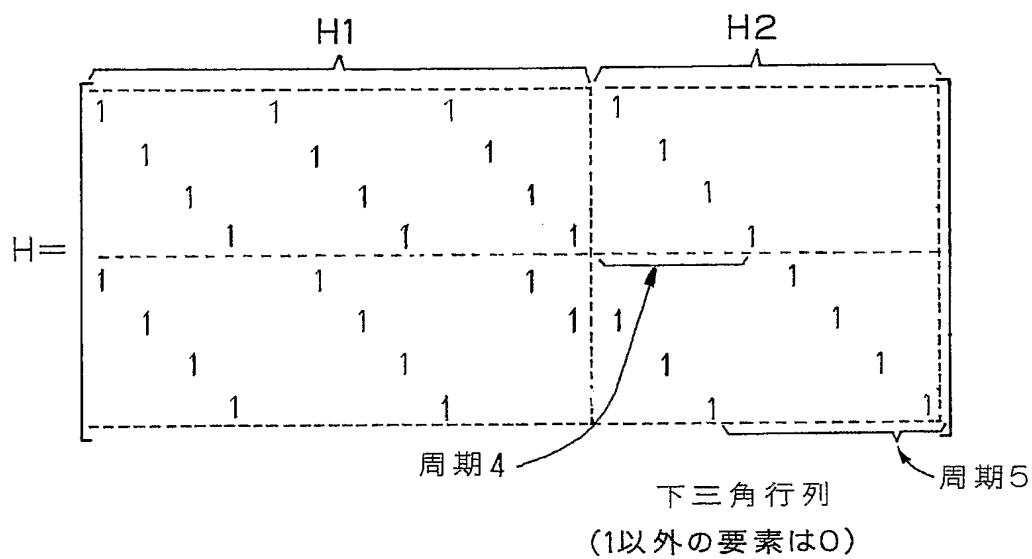
【図 3】



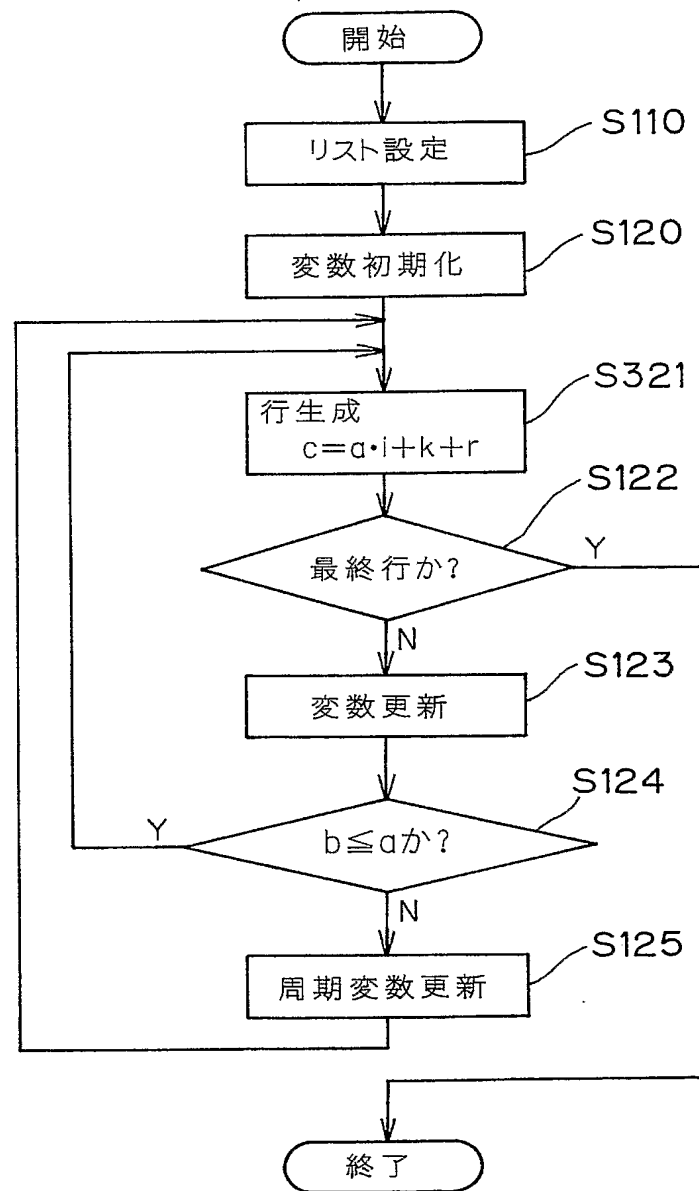
【図 4】



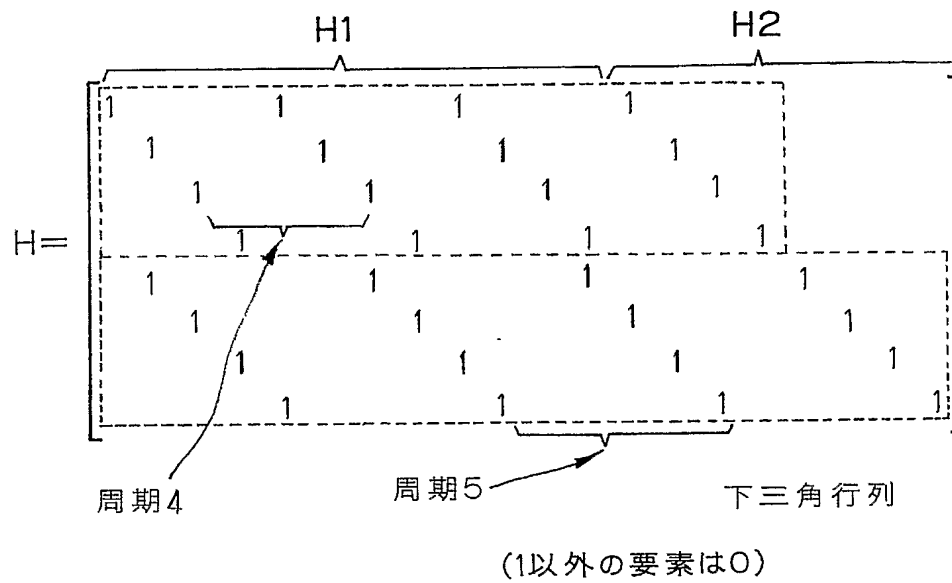
【図 5】



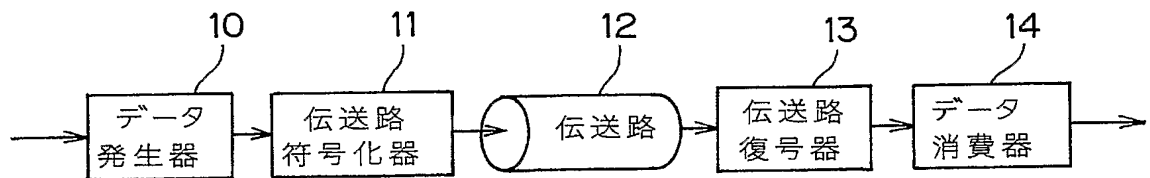
【図 6】



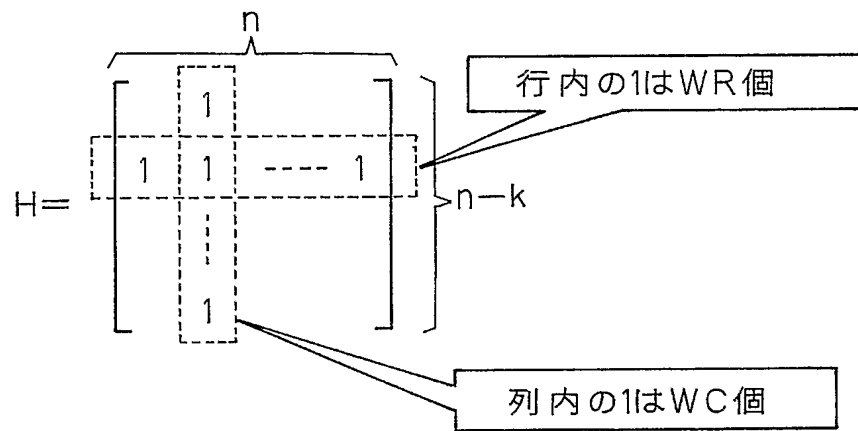
【図 7】



【図 8】



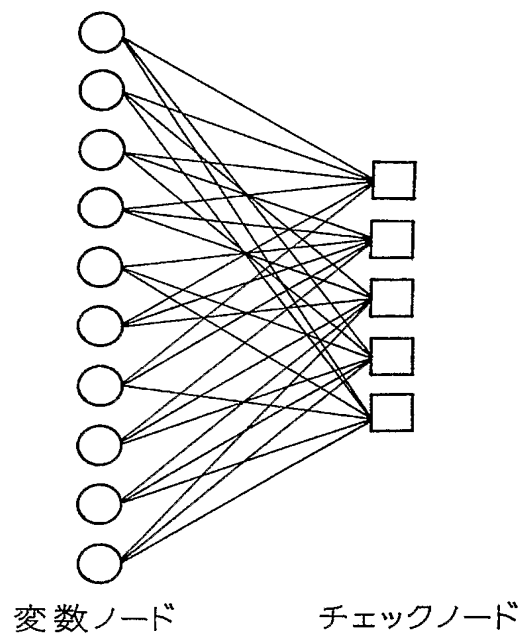
【図 9】



【図 10】

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) 検査行列



(b) 二部グラフ

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 優れたエラー訂正特性を実現することができる低密度パリティ検査符号を簡素に生成する。

【解決手段】 伝送路符号化器の処理部 50 は、検査行列 H を、左側の m 行 k 列の部分行列 H_1 と右側の m 行 m 列の部分行列 H_2 とから構成する。処理部 50 は、部分行列 H_2 を単位行列として生成する。処理部 50 は、部分行列 H_1 に含まれる任意の 2 行を選んだ場合に、2 つの行が互いに素となる周期をもつ、または周期が同一である場合には互いに異なる位相をもつという条件を満たすように部分行列 H_1 を生成する。そして、処理部 50 は、部分行列 H_1 と部分行列 H_2 とを結合することによって検査行列 H を生成する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 1 1 9 2 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

氏 名

日本電気株式会社